論　文

東新潟火力発電所３・４号系列コンバインドサイクル発電設備の増出力運用

(Increased output at Higashi-Niigata Thermal Power Station No3 and No4 Units.)

下鳥　進*
(S. Shimotori)

東新潟火力発電所３・４号系列には，ガスタービン・コンバインドサイクル発電設備を採用している。
今回，３・４号系列の開発，設計，建設と，その後の運用における技術基盤の構築によって実現した，GT入口ガス温度の高温化による増出力運用について紹介する。

This paper shows how this station has achieved an increased output at a higher gas turbine inlet temperature by introducing No3 and No4 Units as well as developing technical bases for them.

１．はじめに

東北電力㈱東新潟火力発電所は，新潟県北部の北蒲原郡聖籠町・新潟東港工業地域に位置し，当社最大の火力電源（緊急電源を含み，総出力約520万kW）として，電力の安定供給の一翼を担っている（図１参照）。

当発電所３・４号系列には，ガスタービン・コンバインドサイクル（以下GTCC）発電設備が採用され，３号系列は，国内初の事業用大容量GTCC発電設備として1985年（昭和60年）に営業運転（全量）を開始した。その後，３号系列の運転保守の経験から，この発電方式は更に高い熱効率ポテンシャルを持っていることを知り，1989年（平成元年）からGTCC発電設備の主機である高効率ガスタービンの開発研究に着手した。

この当時のガスタービン技術レベルは，ガスタービンの翼材料や冷却技術の制約から，３号系列で採用したガスタービン入口ガス温度（以下T1T）1,100℃級，プラント熱効率48％（発電端・LHV基準：以下同様）が最高であり，国内外における事業用ガスタービンの開発はT1T：1,300℃級を目標に進められていた。

当社は，３号系列の開発・設計・建設・運転保守で培った知見を活かし，プラント熱効率55％以上の達成を可能とするT1T：1,500℃級を目標として開発を進め，4-1号系列が1999年（平成11年）営業運転を開始した。その後，更なる技術開発を進め，4-2号系列は，4-1号系列の運転初期に経験した燃焼振動の課題等を踏まえ更なる改善を



図１　東新潟火力発電所全景

*東北電力㈱
(Tohoku Electric Power Campany)

原稿受付年月日　平成25年９月18日

施した新型燃焼器を採用し，2006年（平成18年）営業運転を開始した。

ここでは，３・４号系列の開発・設計・建設とその後の運転保守における技術基盤の構築によって実現した，T1T高温化による３・４号系列GTCC発電設備の増出力運用について紹介する。

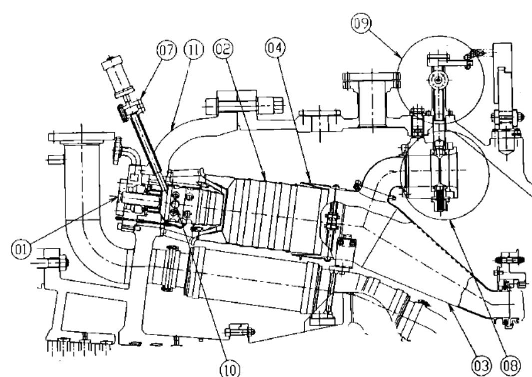
２．当社におけるGTCC発電設備導入の歴史

1970年代は２度に亘る石油危機の経験から長期的な供給力の確保と電源の多様化が求められていた。

当社では1960年代よりGTCC発電設備の高い運用性と高効率に着目し，開発研究を進めるとともに，運転保守において技術基盤の構築を行ない，GTCC発電設備の建設に邁進してきた（図２参照）。

当初，３号系列は従来型の汽力発電方式で計画されていたが，省エネルギーの観点からGTCC発電設備に計画を変更し，開発研究を開始した。国内初の事業用大容量GTCC発電設備であったことから，開発・建設は手探りの状況であり困難を極めた。当時，GT燃焼器の主流は拡散燃焼方式であり，NOx低減のため，水又は蒸気噴霧が用いられていたが，熱効率が低下するとともに大量の水が必要であった。３号系列では世界初となる水又は蒸気噴射によらない乾式予混合燃焼方式を開発し，低NOx予混合燃焼器の実用化に成功した。（図３参照）。

その後，４号系列の開発では，３号系列の開発・建設・運転保守で培った技術や経験を活かし，T1T1,500℃まで高温化するために必要な要素技術開発研究として「翼冷却方法」「予混合比率を拡大した燃焼器」「材料・結晶制御方式」などを1989年（平成元年）から６年間に亘り実施し，その要素性能・信頼性を検証するとともに，それらの結果を設計に反映した。特に材料・結晶制御方式の開発研究では，当時航空機用ジェットエンジン等の小型翼で実用化されていた一方向凝固合金（材質：CM247LC）の１・２段動翼への適用を目指し，スケールアップ製造法の検討を行い，事業用大容量GTへの実用化（図４参照）に成功した。



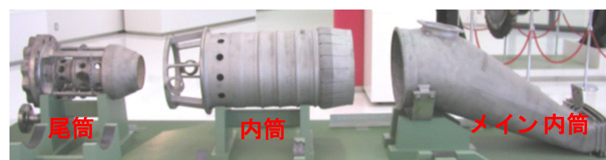


図３　３号系列燃焼器

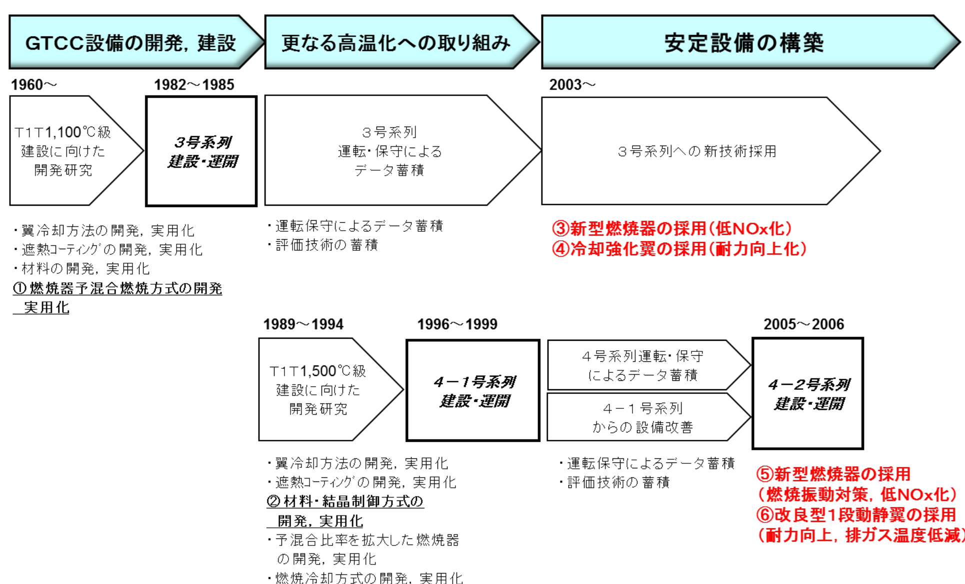


図２　GTCC発電設備導入における技術基盤構築の歩み

３．３・４号系列設備概要

3.1　３号系列プラント構成と機器諸元

３号系列は，1982年（昭和57年）３月に着工，1984年（昭和59年）４月に主機試運転を開始し，3-1号系列を同年12月に，3-2号系列を1985年（昭和60年）10月に営業運転を開始した。

本プラントは，主にベースロード運用で計画されていたことから，蒸気タービンの大型化による熱効率の向上を重視して，多軸型を採用した。

プラント構成は，1,100℃級のGT３台，排熱回収ボイラ（以下HRSG）３台および蒸気タービン（以下ST）１台を組み合わせた多軸型構成を１系列とし，プラント全体として２系列（大気温度15℃において，認可出力1,090MW）で構成されている（図５参照）。また，T1Tは通常時1,154℃の設計とし，短時間であれば1,201℃のピーク運転が可能な設備として建設した。表１に主要機器の諸元を示す。

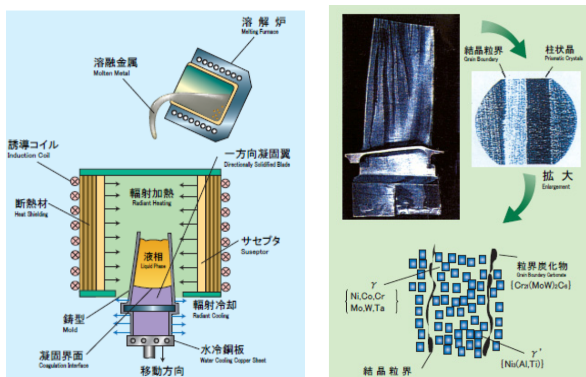


図４　一方向凝固合金（１・２段動翼）

3.2　４号系列プラント構成と機器諸元

４号系列は，4-1号系列が1999年（平成11年）７月，4-2号系列が2006年（平成18年）12月に営業運転を開始した。

プラント構成は，GT２台・HRSG２台およびST１台を組み合わせた多軸型構成を１系列とし，プラント全体として２系列（大気温度－１℃において，認可出力1,610MW）で構成されている（図６参照）。

表１　３号系列主要機器の諸元

（１）ＧＴ	６台
種　　類	一軸開放サイクル形
出　　力	137,000ｋＷ （大気温度 15℃時 118,000kW）
入口圧力	1.47ＭＰａ
入口温度	1,154℃（常用）
回転数	3,000ｒｐｍ
（２）ＨＲＳＧ	６台
種　　類	排熱回収複圧式
蒸発量　（高圧/低圧）	194/61ｔ/ｈ
出口圧力（高圧/低圧）	6.7/0.59ＭＰａ
出口温度（高圧/低圧）	505℃/飽和温度
（３）ＳＴ	２台
種　　類	反動くし形２流排気式
出　　力	203,000ｋＷ （大気温度 15℃時 191,000kW）
入口圧力（高圧/低圧）	6.4/0.49ＭＰａ
入口温度（高圧/低圧）	500℃/飽和温度
回転数	3,000ｒｐｍ
（４）プラント性能	
認可出力	1,090,000ｋＷ（大気温度 15℃）
熱効率	48%（LHV 基準）

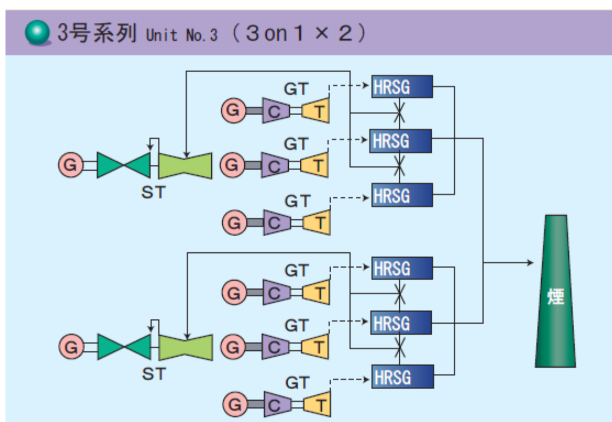


図５　３号系列設備構成

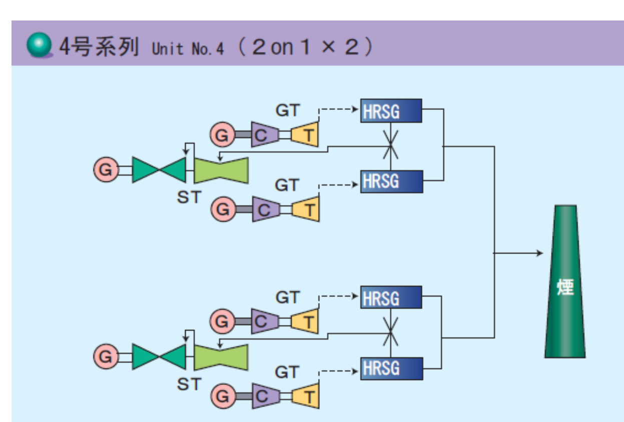


図６　４号系列設備構成

各々の設備設計にあたっては，将来的なT1T：1,500℃運転を可能とする設備として設計されていたが，安定した電力供給を行なうため，高温部品の状況を確認しつつ運用していくという観点から，T1T：1,450℃で運用されてきた。表２に主要機器の諸元を示す。

４．増出力運用に向けた具体的取り組み

4.1　３号系列の取り組み

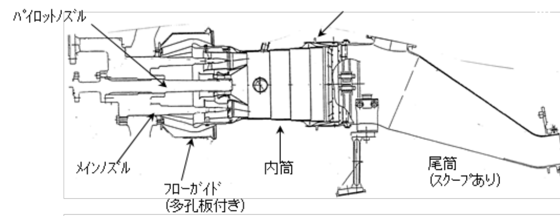
３号系列でT1T：1,201℃のピーク運転を長期間，安定的に行なう場合には，燃焼器やタービン動静翼などの高温部品の信頼性を向上する必要があった。

そこで，高温部品の破壊調査による健全性評価，信頼性向上のための新技術開発による技術的知見を蓄積し，2003年（平成15年）に燃焼安定性向上を目的に新型燃焼器（図７参照）を採用し，2008年（平成20年）には高温部品の耐力向上を目的にタービン冷却強化翼を採用した（図８参照）。

表２　４号系列主要機器の諸元

（１）ＧＴ	４台
種　類	一軸開放サイクル形
出力（4-1 号計列）	270,000ｋＷ
出力（4-2 号系列）	284,000ｋＷ
入口圧力	1.9ＭＰａ
入口温度	1,450℃（常用）
回転数	3,000ｒｐｍ
（２）ＨＲＳＧ	４台
種　類	排熱回収三重圧式
蒸発量（高圧/中圧/低圧）	291/75/61ｔ/ｈ
出口圧力（高圧/中圧/低圧）	14.1/4.9/0.64ＭＰａ
出口温度（高圧/中圧/低圧）	569/295/270℃
（３）ＳＴ	２台
種　類	くし形２流排気式 再熱混圧復水形
出力（4-1 号系列）	265,000ｋＷ
出力（4-2 号系列）	272,000ｋＷ
入口圧力（高圧/再熱/低圧）	13.7/4.1/0.50ＭＰａ
入口温度（高圧/再熱/低圧）	566/566/267℃
回転数	3,000ｒｐｍ
（４）プラント性能	
認可出力	1,610,000ｋＷ
熱効率	55%（LHV 基準）

併せて，全大気温度域における燃焼状態の各種実機試験を繰り返し，出力特性の詳細確認，設備耐力や周辺補機類等の現場機器の状態について，再評価を実施しながら，年間を通じてピーク時運用による増出力（1,210MW）運用が可能なことを確認した（図９参照）。

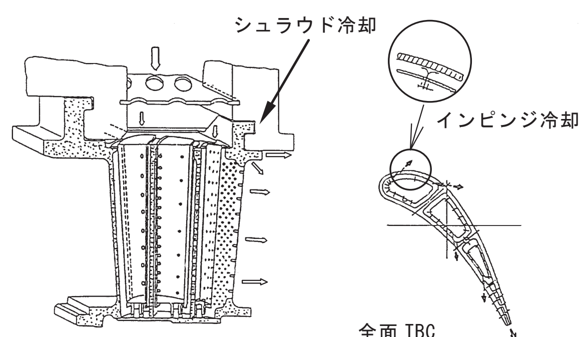


対策内容

①アニュラー型燃焼器からマルチノズル型燃焼器に変更（ＮＯｘレベルが約８０ppm⇒４０ppm）

②冷却構造変更による冷却強化（寿命：従来比１．６倍程度）

図７　新型燃焼器



対策内容

①冷却設計の変更（２キャビティ⇒３キャビティおよびシュラウド冷却追加）

②前縁部 TBC+耐酸化コーティングから全面 TBC

図８　タービン冷却強化翼（１段静翼）

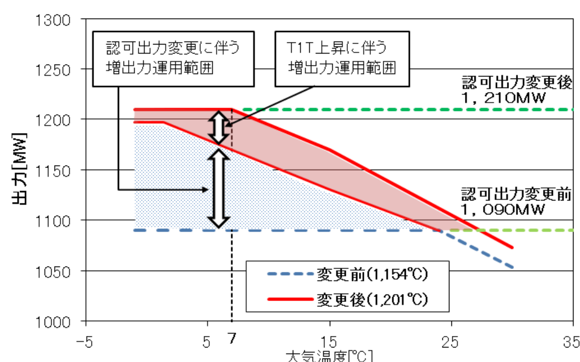


図９　３号系列出力特性

4.2　４号系列の取り組み

4-1号系列は，世界初のT1T：1,500℃の実現を目標に掲げ，実機の開発・性能試験と並行しながら建設を進めた。建設当時（1999年頃）は，安定した電力供給を行なうため，高温部品の状況を確認しつつ運用していくという観点から，T1T：1,450℃での運用を行い，将来的な1,500℃運用に向けた技術的知見の蓄積を行なった。

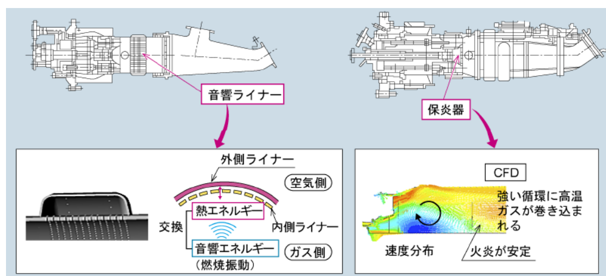
2006年（平成18年）に運転を開始した4-2号系列では更なる技術開発を進め，4-1号系列の運転初期に経験した燃焼振動の課題等を踏まえ更なる改善を施した新型燃焼器採用や高温部品の耐力向上を目的とした改良型１段動静翼を採用し，設備の信頼性向上対策を実施した（図10参照）。

4-2号系列運開時は，需給バランス上，安定運用が求められていたこともあり，4-1号系列で実績のあったT1T：1,450℃で運用を開始した。運用開始後はT1T：1,500℃での各種実機試験を実施し，全大気温度域における安定運用の各種データ蓄積を行なうとともに，定期点検や燃焼器点検などにより，高温部品の健全性を再確認，再評価した。その結果，4-2号系列ではT1T1,500℃での運用が常時可能と評価し，増出力（1,700MW）運用が可能なことを確認した（図11参照）。

4.3　３・４号系列の増出力効果

T1T高温化による増出力運用が常時可能と評価できたことから，法令諸手続きの準備を進めている中，2011年（平成23年）3月11日に東日本大震災が発生し，当社の太平洋側火力発電設備が甚大な被害に直面した。深刻な供給力不足の解消が喫緊の課題となったが，関係箇所のご理解，ご協力をいただき，震災発生の翌週（３月17日）には，認可出力変更届出が受理された。３・４号系列の増出力運用によって，夏場の需給逼迫時の追加供給力（最大210MW）として戦列に加えることができた（表３参照）。

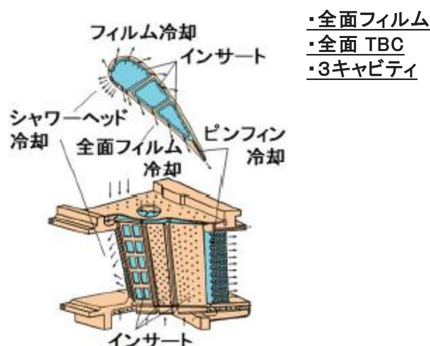
新型燃焼器



①音響ライナ採用による燃焼振動抑制

②各種設計変更による安定燃焼性の向上

改良型１段静翼



対策内容

①プロファイル形状の変更（効率向上）

②冷却設計の変更

図10　4-2号系列設備の信頼性向上対策

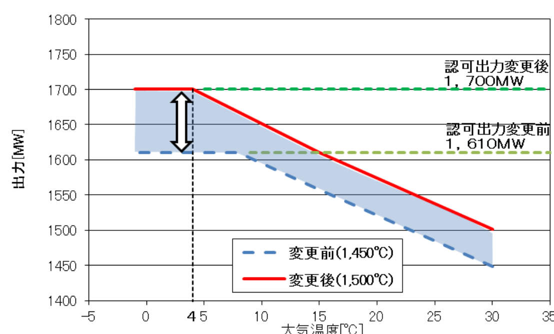


図11　４号系列出力特性

表３　３・４号系列増出力効果

３号系列	増出力前	増出力後
ＴＩＴ（℃）	1,154	**1,201**
系列出力（MW）（＠大気温度）	1,090（＠24℃以下）	**1,210（＠7℃以下）**
最大増出力量（MW）	―	**120**

４号系列	増出力前	増出力後
ＴＩＴ（℃）	1,450	**1,500※1**
系列出力（MW）（＠大気温度）	1,610（＠8℃以下）	**1,700（＠4℃以下）**
最大増出力量（MW）	―	**90**

※１：４－２号系列のみ

５．その他増出力への取り組み

5.1　GT吸気口でのミスト水噴霧装置の設置

大気温度が上昇する夏場などには，吸気の空気密度低下とともに，GT出力が低下するため，GT吸気口に，非常に微細で気化性の高い水滴をミスト状に噴霧する装置を設置し（図12参照），吸気温度を低下させることにより増出力を図ることを実現し，高気温・低湿度時のミスト噴霧による増出力運用も行なっている。



図12　４号系列ミスト水噴霧状況

６．まとめ

当発電所３・４号系列では，これまで紹介した増出力運用開始から２年以上が経過しているが，トラブルは発生しておらず，これらの運用性向上対策の有効性を十分に確認できている。GTCC発電設備はまだまだ技術開発の裕度を保持しており，運用性向上への挑戦は継続中である。

当社は事業用大容量GTCC発電設備開発の先駆けとして，1984年（昭和59年）に国内初の事業用大容量GTCC発電設備を東新潟３号系列に採用して以来，その後の同４号系列，仙台火力４号機，そして，現在建設中の新仙台火力３号系列まで一貫して高効率GTCC発電設備の開発・運用に邁進してきた。

そうした中で培われた生の技術や，飽くなき挑戦の人的モチベーションは無形有形の資産として当社火力マンの中に息づいており，未来永劫受け継がれていくものと確信している。

本寄稿に拠り，これまでの増出力に向け尽力された先人の辛苦に敬意を評し締めくくるものとしたい。